

# **Entwicklung eines Condition-Monitoring-Systems auf Basis einer Belastungsanalyse am Beispiel eines Beraubers**

Von der Fakultät für  
Georessourcen und Materialtechnik der  
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
**Doktors der Ingenieurwissenschaften**

genehmigte Dissertation  
vorgelegt von

**Christian Niedringhaus, M.Sc.**

aus Köln

**Berichter:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Nienhaus  
Prof. Dr.-Ing. Günther Philipp

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Januar 2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Forschung</b>	<b>5</b>
2.1	Grundlagen des Beraubens . . . . .	5
2.2	Messsysteme . . . . .	9
2.2.1	Anforderungen an geeignete Messsysteme . . . . .	9
2.2.2	Marktübersicht . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Betriebsmessung</b>	<b>19</b>
3.1	Konzept der Messkampagne . . . . .	19
3.1.1	Auslegung DMS - Sensorik . . . . .	21
3.1.2	Körperschallsensoren . . . . .	29
3.1.3	Linearsensoren . . . . .	30
3.1.4	Neigungs- und Drehwinkelsensoren . . . . .	32
3.2	Technische Umsetzung des Konzepts . . . . .	32
3.2.1	Applikationsorte der nachgeschalteten Messtechnik . . . . .	32
3.2.2	Aufbau der nachgeschalteten Messtechnik . . . . .	34
3.2.3	Installation der Messtechnik am Einsatzort . . . . .	37
3.3	Kalibrierung und Plausibilitätsanalyse der Messsignale . . . . .	38
3.4	Durchführung der Betriebsmessung . . . . .	40
<b>4</b>	<b>Datenauswertung und Systemanalyse</b>	<b>43</b>
4.1	Auswertung der Messergebnisse . . . . .	43
4.1.1	Bewertung der Datengrundlage . . . . .	43
4.1.2	Analyse eines Messabschnitts . . . . .	45
4.1.3	Vergleich Firste/Stoß . . . . .	47
4.1.4	Analyse exemplarischer Eingriffsspiele . . . . .	49
4.1.5	Modalanalyse . . . . .	57
4.2	Herleitung der Prozesskräfte . . . . .	60
4.2.1	Methodik . . . . .	60
4.2.2	Umsetzung an exemplarischem Arbeitszyklus . . . . .	65
4.2.3	Ergebnisübersicht aller untersuchter Fälle . . . . .	68
4.2.4	Kritische Bewertung der Ergebnisse . . . . .	69
4.3	Erkenntnisse im Hinblick auf die Anforderungen an ein permanentes Messsystem . . . . .	70
4.4	Vergleich und Bewertung der Messsysteme . . . . .	71

---

<b>5</b>	<b>Entwicklung des Condition-Monitoring-Systems</b>	<b>73</b>
5.1	Ansätze zur Beurteilung der mechanischen Teleskopauslegerbelastung	73
5.1.1	Detektion von schädigendem Betriebsverhalten . . . . .	74
5.1.2	Validierung der Methode zur Detektion von schädigendem Betriebsverhalten . . . . .	81
5.1.3	Methode zur Bewertung der Bauteilbeanspruchung . . . . .	85
5.2	Entwicklung und Erprobung des Messsystems . . . . .	88
5.2.1	Entwicklung des Messsystems auf Basis der Systemanalyse . .	88
5.2.2	Validierung des Messsystems im Labor . . . . .	91
5.2.3	Validierung des Messsystems am Beraubefahrzeug . . . . .	99
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>103</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>105</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>107</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>111</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>113</b>